

УДК 621.762.55

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ЛАЗЕРНОГО ФОРМУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ШАРУ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

О.О. Гончарук

Асистент*

Контактний тел.: 096-749-43-26

E-mail: Alexdgjin@gmail.com

Л.Ф. Головка

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (044) 454-96-06

E-mail: Leongolovko@gmail.com

А.М. Лутай

Старший викладач*

Контактний тел.: 067-209-27-55

E-mail: lutay.a@yandex.ua

О.Д. Кагльак

Асистент

Контактний тел.: 068-322-99-67

E-mail: Kaglyak_O@meta.ua

*Кафедра лазерної техніки та фізико-технічних технологій
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03056

Повіdomляються результати досліджень і встановлених закономірностей створення з використанням лазерного випромінювання функціональних композитів із надтвердих матеріалів інструментального призначення з заданими властивостями. Визначено оптимальні режими та умови спікання абразивних композитів із надтвердих матеріалів

Ключові слова: лазерне спікання, надтверді матеріали, інструментальні композити

Сообщаются результаты исследований и установленных закономерностей создания с использованием лазерного излучения функциональных композитов из сверхтвердых материалов инструментального назначения с заданными свойствами. Определены оптимальные режимы и условия спекания абразивных композитов из сверхтвердых материалов

Ключевые слова: лазерное спекание, сверхтвердые материалы, инструментальные композиты

1. Вступ

Лазерне спікання функціональних композитів із надтвердих матеріалів (НТМ) інструментального призначення з заданими властивостями включає наступні фізичні процеси: взаємодію лазерного випромінювання зі складовими композиту (зернами НТМ та металевими частками порошкової суміші зв'язки), поглинання та пропускання; нагрівання зерен НТМ, тріщиноутворення, нагрівання та плавлення компонентів порошкової суміші; змочування розплавом зерен НТМ та утворення на їх поверхнях тонких металевих плівок, дифузійні та хімічні процеси на границях зерно НТМ – плівка - зв'язка, структурно-фазові перетворення при охолодженні закристилізованого розплаву [1].

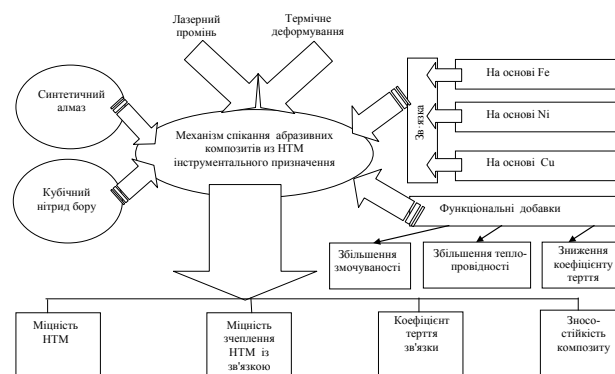


Рис. 1. Схема механізму лазерного спікання функціональних композитів із НТМ інструментального призначення з заданими властивостями

Вихідними характеристиками процесу лазерного спікання абразивних композитів інструментального призначення є міцність зерен НТМ та їх зчеплення зі зв'язкою, зносостійкість. Для встановлення взаємозв'язків між головними технологічними параметрами процесу і характеристиками якості композиту, наочності і спрощення цілісного представлення про течію фізико-хімічних процесів при спіканні абразивних композитів із надтвердих матеріалів інструментального призначення з заданими властивостями розроблено схематизовану фізичну модель процесу спікання, яка представлена на рис. 1. Її структурним стрижнем є відображення послідовності дій фізичної, хімічної і механічної природи.

2. Постановка задачі

Метою даного дослідження є визначення оптимальних режимів та умов спікання абразивних композитів із надтвердих матеріалів інструментального призначення з заданими властивостями.

3. Методика дослідження

Однієї з основних завдань дослідження є визначення максимальних значень температур надшвидкісного лазерного нагрівання різних синтетичних НТМ і відповідних їм умов опромінення, при яких не спостерігається зниження їхньої міцності.

Як відомо, метали краще поглинають випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 1,06$ мкм, тому на нашу думку є доцільним встановлення залежностей формування наплавлених композитних шарів та визначення впливу вказаної довжини на міцність КНБ. Для вказаних досліджень використовувався лазерний технологічний комплекс на базі Nd: YAG-Лазер «DY044» з довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 1,06$ мкм.

Прямий вплив лазерного опромінення на КНБ визначався за методикою розглянутою в [2,3]. Для дослідження впливу $\lambda = 1,06$ мкм були обрані шліфувальні порошки п'яти марок, вихідна міцність при статичному навантаженні яких представлена в табл.1. Визначення показника статичної міцності шліфпорошків КНБ проводили за стандартною методикою на приладі моделі ДА-2. Сутність методу - визначення значень статичного навантаження, що руйнує зерна КНБ, поміщені між двома паралельними пластинами.

Лазерне опромінення зерен КНБ здійснювалося при наступних параметрах обробки - діаметр плями фокусування ($d=3$ мм), швидкість переміщення заготовки відносно променя ($V=0,04-3$ м/хв), потужність лазерного випромінювання $P=0,3 - 3$ кВт.

Паралельно проводилися дослідження по встановленню впливу технологічних параметрів на процес формування та геометрію наплавленого композиційного матеріалу. Вивчення впливу лазерного опромінення на характер структури (дисперсність, однорідність, розподіл легуючих елементів) проводилося на зразках інструментальних композитів різних систем, що відрізняються температурою плавлення й твердістю: ПГ-12Н-01 (ТУ48-19-383-90), ХТН23, ПС-12Н-ВК

(ТУ48-19-383-90(0,65(ПГ-10Н-01) + 0,35(WC))), ПГ-ПН6, БрО10 (Sn-10%, інше Cu).

Таблиця 1

Марка шліфпорошків КНБ	Міцність зерен, Н	
	Дані вимірів	Дані вимірів виробників
CBN 100(D1)	13,0	-
КВ 250/200. 14.08.07.	12,1	13,2
КНБ КВ 250/200 (п.1031)	9,4	9,4
КВ 250/200. Партія 175	8,5	-
КР 200/160 (Н160%)	8	10,5

Зразки з ущільненими й зволоженими цапонлаком порошковими композитами (по методу «шлікерної» обмязки [4]), розміщувались на підложці виготовленій зі сталі 30, піддавалися лазерному опроміненню з різними довжинами хвилі при наступних параметрах: на лазерно-технологічному комплексі «ЛАТУС 31» (CO₂ – лазер, довжина хвилі $\lambda=10,6$ мкм) обробка проводилася на повітрі при різній щільності потужності в межах $W_p=(0.3-6.37)\times 10^4$ Вт/см² і часу обробки $\tau=0,15-0,45$ сек. Лазерний технологічний комплекс «DY044» на базі Nd:YAG – лазера дозволяв варіювати параметри обробки в широких межах: зразки піддавалися лазерному опроміненню на повітрі й при додатковому захисті в середовищі аргону з витратою 2-20 л/хв, щільності потужності в межах $W_p=(0.1-1.4)\times 10^4$ Вт/см² і часу обробки $\tau=0,06-4,5$ сек.

Після опромінення зразки вивчалися застосуванням методів растрової електронної мікроскопії, локального й інтегрального рентгеноспектрального елементного аналізу, вимірювалась мікротвердість отриманих валиків, макро- і мікроструктурний їх аналіз.

При прямому опроміненні шліфпорошків КНБ, які частково прозорі для розглянутих довжин хвиль, частку поглиненої енергії випромінювання важко прогнозувати [2]. У зв'язку із цим становить інтерес дослідження взаємодії лазерного випромінювання із зернами КНБ при непрямому швидкісному нагріванні зарахунок лазерного оплавлення порошків при спіканні композитів з різними типами зв'язки (ПС-12 Н-ВК, ПГ-ПН6, ПГ-12Н-01, ХТН23, БрО10 і механічної суміші Cu(80%) + Sn(20%)), у які попередньо були поміщені зерна КНБ. При цьому формування інструментального композита здійснювалося по схемах наведеним на рис. 2.

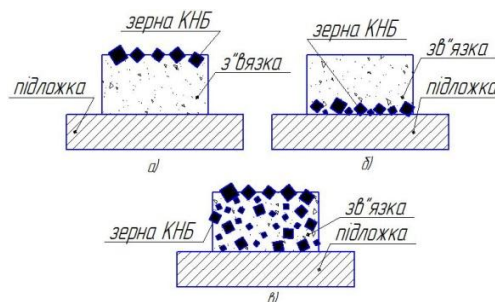


Рис. 2. Схеми розміщення зерен КНБ при формуванні інструментального композита: а - на поверхні зв'язки; б - під шаром зв'язки на підложці; в - механічна суміш КНБ і зв'язки з 100% концентрацією КНБ

Обробка всіх зразків проводилася при розташуванні точки старту й зупинки променя за межами зразка на відстані 40 мм, для запобігання процесів перегріву зразків і рівномірності швидкості обробки.

4. Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз результатів виміру міцності шліфпорошків КНБ при статичному навантаженні показав, що шліфпорошки всіх марок, при лазерному нагріванні при обробці з довжиною хвилі $\lambda = 10,6$ мкм, зі швидкістю переміщення лазерного променя від 0,2 до 2,0 м/хв. та при щільності потужності $W_p = (0.3-6.37) \times 10^4$ Вт/см² практично не втрачають своєї вихідної міцності, хоча і є невелике падіння міцностних характеристик у межах 10-15%, про що свідчать дані наведені на діаграмі рис. 3.

Наявність же зерен КНБ із низькою міцністю після лазерного нагрівання, у яких показник міцності на зазначених режимах дорівнює 2,6 Н, що приблизно в 5 - 6 разів нижче, ніж аналогічний показник у вихідних шліфпорошків, свідчить про наявність у вибірці графітоподібного α -BN, BN_{гр}, що слугує вихідним матеріалом при утворенні β -BN, BN_к у присутності металів (їхніх нітридів і боридів) лужної та лужноземельної груп періодичної системи елементів, він має низьку вихідну міцність і потрапив у вибірку у вигляді зерен білого кольору [5].

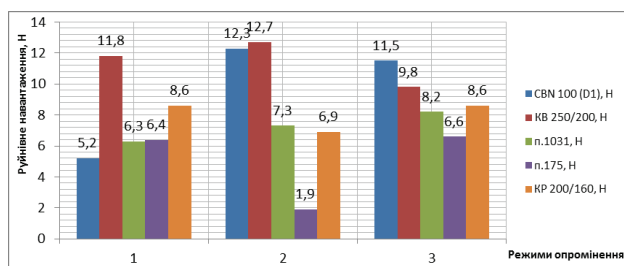


Рис. 3. Загальна діаграма розподілу статичної міцності шліфпорошків різних марок від впливу швидкості переміщення й діаметра променя лазера при обробці з $\lambda = 10,6$ мкм: 1 - $d=7$ мм; $V=0,8$ м/хв; $P=800$ Вт; 2 - $d=7$ мм; $V=1,4$ м/хв; $P=800$ Вт; 3 - $d=7$ мм; $V=2,0$ м/хв; $P=800$ Вт

Трохи інша картина розподілу статичної міцності шліфпорошків розглянутих марок при лазерній обробці з $\lambda = 1,06$ мкм. Діаграми виміру статичної міцності представлені на рис. 4.

Також на втрату статичної міцності шліфпорошків КНБ при обробці лазерним випромінюванням з $\lambda = 1,06$ мкм, пояснюється високою поглинальною здатністю КНБ до даної довжини хвилі, а також відсутністю захисту зони лазерного впливу від окислювачів з навколишнього середовища. Як показали дослідження при подачі в зону обробки захисного інертного газу аргону з витратою 10 л/хв, кількість зруйнованих зерен різко зменшується. Відзначимо, що застосування аргону сприяло підвищенню швидкості формування наплавочних валиків і поліпшенню якісних показників наплавлення. Однак навіть без застосування захисту задовільні показники міцності показує шліфпорошок марки KB 250/200 виробництва ІНМ ім. Бакуля. Що

відкриває перспективи ефективного його використання при формуванні інструментальних композитів методом лазерного селективного спікання.

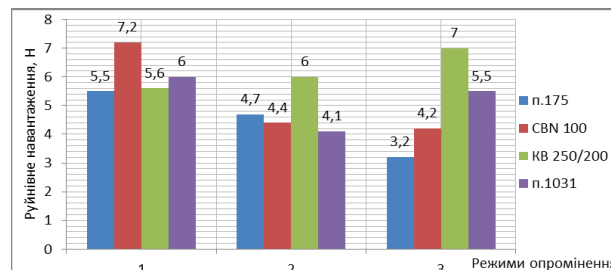


Рис. 4. Загальна діаграма розподілу статичної міцності шліфпорошків різних марок від впливу швидкості переміщення й потужності лазерного випромінювання при обробці з $\lambda = 1,06$ мкм: 1 - $d=3$ мм; $V=0,1$ м/хв; $P=300$ Вт; 2 - $d=3$ мм; $V=1,4$ м/хв; $P=600$ Вт; 3 - $d=3$ мм; $V=2,0$ м/хв; $P=900$ Вт

Аналіз даних результатів досліджень по впливу лазерного опромінення на процес формування та властивості абразивних композитів дозволив зробити висновок, що враховуючи значно менші енергетичні витрати доцільно використовувати для виготовлення композитів із НТМ інструментального призначення порошки на основі міді, зокрема композити БрО10 та ПГ-19М-01. У випадку виготовлення більш зносостійкого композиту доцільно застосовувати порошки ПС-12Н-ВК, які при лазерному опромінюванні утворюють в матриці інструменту тугоплавкі карбіди. З метою визначення технологічних режимів лазерного випромінювання на фізико-механічні властивості композитів ПГ-12Н-01, ПС-12Н-ВК, БрО10, ПГ-19М-01, ПГ-ПН6, ХТН23, зокрема мікротвердості, була проведена серія експериментів. При лазерному спіканні з довжиною хвилі 10,6 мкм вимірювання мікротвердості проводили у центрі сформованого валика та в зоні термічного впливу; у дослідних зразках композитів, отриманих при лазерному опромінюванні з довжиною хвилі 1,06 мкм вимірювання здійснювали в трьох точках: центр валика, перехідна зона під валиком (зона з'єднання матеріалу основи з композитом), а також у зоні термічного впливу матеріалу основи. Більш детально дані експериментальних досліджень будуть представлені в окремій публікації.

Після аналізу експериментальних досліджень сформульована технологічна послідовність спікання: спочатку розплавляємо лазерним випромінюванням суміш зв'язуючого, а потім в у розплав, що утворився занурюємо зерна надтвердих матеріалів. Це дозволяє зменшити термічне навантаження на зерна НТМ і значно розширити функціональні можливості зв'язок з урахуванням температури їх плавлення.

На рис.5 та 6 показані області визначення оптимальних енергетичних параметрів лазерного випромінювання при спіканні функціональних композитів із НТМ інструментального призначення з заданими властивостями.

З наведених рисунків визначені оптимальні енергетичні параметри концентрованого лазерного опромінювання порошків КНБ $[(0,5-1,5) \cdot 10^4$ Вт/см², час дії 0,2-0,3 с, швидкість відносного руху

0,8-2,0 м/хв.), що забезпечують температурний інтервал їх нагрівання в діапазоні 1000 – 1500 °С, яке не чинить негативного термічного руйнівного впливу на зерна кубічного нітриду бору. Це дозволяє з принципово високою продуктивністю і низькою собівартістю процесу формувати кубонітвміщуючі композити для різноманітної номенклатури інструментів з точки зору форми, геометричних розмірів та властивостей зв'язок; створені передумови для лазерного селективного сотрування та лазерного модифікування порошків КНБ.

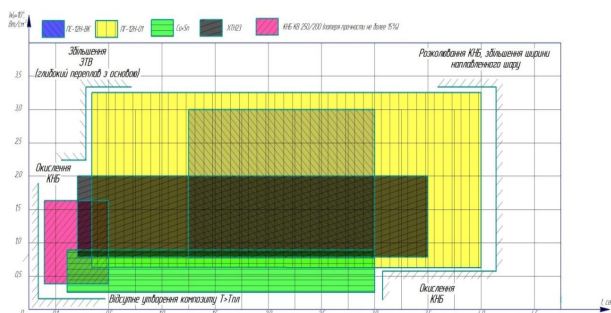


Рис. 5. Область оптимальних технологічних режимів лазерного спікання композитів із НТМ з довжиною хвилі $\lambda=10.6$ мкм

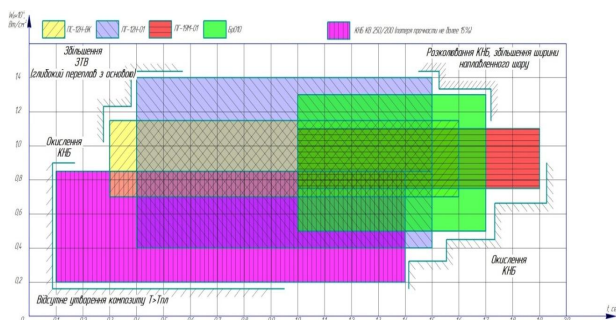


Рис. 6. Область оптимальних технологічних режимів лазерного спікання композитів із НТМ з довжиною хвилі $\lambda=1,06$ мкм

У якості зв'язуючого інструментальних композитів необхідно використовувати металеві порошки

дисперсністю 40 – 60 мкм, як на основі міді (80 % Cu+20 % Sn), БрО10, ПГ-19М-01 так і на основі нікелю (ПС-12Н-ВК) у залежності від функціонального призначення інструмента, властивостей матеріалу, що обробляється. Для підвищення щільності, міцності і надійності утримання зерен НТМ у зв'язці, а також зменшення напружень, які виникають при лазерному спіканні, виключення тріщиноутворення, збереження пластичних властивостей композиту до його складу важливо і доцільно додавати активні добавки (Ni, Co), а також домішки функціонального призначення (Cu, Ti).

Порошкову суміш композиту доцільно подавати плавно, без пульсацій, безпосередньо у зону дії лазерного випромінювання під кутом 45° до поверхні, що опромінюється, в слід лазерного променя, тобто в ванну розплавленого металу. Витрати порошку повинні бути дозовані і регульовані в межах 0,1 – 0,5 г/с. Не витратичні в процесі спікання порошок необхідно обов'язково видалити із зони випромінювання.

5. Висновки

Визначені оптимальні області технологічних параметрів лазерного випромінювання для спікання функціональних композитів із НТМ інструментального призначення дозволяють зробити наступні висновки: найбільш економічним і перспективним з точки зору виготовлення інструментальних композитів є використання лазерного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda=1,06$ мкм. Застосування такого лазерного випромінювання значно розширює технологічні можливості спікання. У випадку ж застосування захисних газів зона режиму лазерного випромінювання стає ще більшою за рахунок збільшення швидкості. Останнє позитивно впливає на зменшення термічного навантаження на абразивні зерна із надтвердих матеріалів. Технологічні режими лазерного опромінювання: щільність потужності $W_p=(0,5-2,0) \cdot 10^4 \text{ Вт/см}^2$; час взаємодії варіювати у межах $0,1 - 0,3$ с. Витрати захисного газу у межах 10 ± 2 л/хв.; оптимальна величина нанесеного шару при виготовленні дискового абразивного інструменту за один оберт $0,3 - 0,5$ мм.

Література

1. Головки Л.Ф., Лук'яненко С.О. Монографія. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання [Текст] – К.:Вістка, 2009. – 295С.
2. О.О. Гончарук, ас., Л.Ф.Головки, проф., В.Г.Сороченко, к.т.н., А.М.Лутай, ст. викл., О.Д. Кагляк, ас. Вплив лазерного опромінення з різною довжиною хвилі на міцнісні характеристики кубічного нітриду бору [Текст]. – Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2012. - №33 – с.37-44.
3. Головки, Л.Ф. Влияние лазерного нагрева на прочность кубического нитрида бора при статическом нагружении [Текст]. / Головки, Л.Ф., Гончарук О.О., Кагляк О.Д. // Восточно-европейский Журнал передовых технологий – 2010. – №1/6(43) – с. 4-10.
4. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. - 2-е изд., стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 664 е.: ил.
5. Гончарук А.А., Головки Л.Ф., Лутай А.Н., Ключников Ю.В. Влияние лазерного нагрева на фазовый состав и структуру кубического нитрида бора. – Збірка матеріалів VI Міжнародної науково-технічної WEB-конференції “Композиційні матеріали” – 2012. – с.58-61.

Abstract

The basic parameters, which determine the physical and chemical processes occurring in the surface layer during the laser sintering of composites from superhard materials, are temperature, time of heating and cooling rate. These parameters are directly dependent on a number of factors related to the laser beam, the powder mixture components and the implementation of the terms of the technological sintering process. The ultimate goal of the laser sintering is to provide to the surface layer of composite a set of physical-mechanical and performance properties. Between the physicochemical processes and performance properties there is an ordered tie through the qualitative characteristics of the formed surface layer of the composite with superhard material. The determination of the interactions allows us to design technological processes to obtain a secure result of laser sintering of composites with superhard materials of tool purpose. In this article the mechanism and factors, affecting the formation of tool abrasive layer during the laser sintering with different wavelength, was considered. The ranges of optimum conditions of irradiation without loss of superhard material abrasive properties were determined.

Keywords: laser sintering, superhard materials, tool composites

У цій статті розглянуті різні варіанти синтезу шаруватих сполук графіту. Розглянуто шляхи синтезу шаруватих сполук графіту з інтеркалантами, які мають аніонну структуру, коли у міжплоскісний простір графіту проникають різні аніони неорганічних сполук. Шаруваті сполуки графіту, що синтезуються, в подальшому можуть знайти застосування в ливарному виробництві та обробці металів тиском

Ключові слова: шаруваті сполуки графіту, інтеркаляція, акцепторні сполуки графіту, донорні шаруваті сполуки

В данной статье рассмотрены различные варианты синтеза слоистых соединений графита. Показаны пути синтеза слоистых соединений графита с интеркалантами, имеющими анионную структуру, когда в межплоскостное пространство графита внедряются различные анионы неорганических соединений. Синтезируемые слоистые соединения графита в перспективе могут найти применение в литейном производстве и обработке металлов давлением

Ключевые слова: слоистые соединения графита, интеркаляция, акцепторные соединения графита, донорные слоистые соединения

УДК 546.26-162

СЛОИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГРАФИТА

А. Н. Довгаль*

А. А. Костиков

Кандидат физико-математических наук, доцент*

Контактный тел.: 067-702-59-82

E-mail: al_kost_63@mail.ru

А. А. Кузнецов

Кандидат химических наук, доцент*

Контактный тел.: 050-597-45-46

В. Н. Черномаз

Кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой

Контактный тел.: (0626) 41-69-56

E-mail: pm@dgma.donetsk.ua

*Кафедра прикладной математики

Донбасская государственная машиностроительная
академия

ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл.,
Украина, 84313

1. Получение и химические свойства слоистых соединений графита

Графит - одна из кристаллических модификаций углерода. Представляет собой систему плоских полиароматических слоев с углеродными атомами в sp^2 -гибридных состояниях. Каждый С-атом в плоскости связан с тремя соседними ковалентными связями с длиной 0,1417 нм [1]. Полиареновые слои связаны слабыми дисперсионными, ван-дер-ваальсовыми, диполь-дипольными взаимодействиями; межосевое расстояние составляет 0,3345 нм. Теоретическая плотность графита 2265 кг/м³; но для реальных образцов, как правило, несколько ниже [2].

Идеальная решетка графита представлена двумя кристаллографическими модификациями: гексагональной, в которой атомы углерода располагаются точно над (или под) центрами гексагонов соседнего слоя (последовательность слоев аоаоао ...) и ромбоэдрической, где второй и третий слои сдвинуты относительно первого (последовательность аосос ...) [2,3]. Реальные графиты отличаются от идеальных наличием дефек-